

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a
informatiky

Bakalářská práce

VŠB – Technická univerzita Ostrava

**Fakulta elektrotechniky a
informatiky**

Katedra elektroniky

**Vliv jednotlivých typů zátěží na vlastnosti
DC/AC měničů**

**The influence of different loads on the
characteristics of DC/AC inverters**

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zadání bakalářské práce

Student:

Pavel Mot'ka

Studijní program:

B2649 Elektrotechnika

Studijní obor:

2602R014 Aplikovaná a komerční elektronika

Téma:

Vliv jednotlivých typů zátěží na vlastnosti DC/AC měničů
The influence of different loads on the characteristics of DC/AC
inverters

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te rozbor typů DC/AC měničů s ohledem na oblast jejich využití.
2. Pro jednotlivé typy zátěže proved'te měření nejdůležitějších parametrů různých typů DC/AC měničů.
3. Vyhodno'te vhodnost použití jednotlivých typů DC/AC měničů pro různé typy spotřebičů.

Seznam doporučené odborné literatury:


Dle pokynů vedoucího závěrečné práce.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013


doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry




prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně.

Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Dne 7.5 2013


.....

Poděkování

Děkuji svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Petru Palackému, Ph. D. za pomoc a cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou DC/AC měničů. Je zde základní rozdělení měničů podle nejdůležitějších kritérií a popis nejběžnějších ochran integrovaných v těchto měničích. Dále je zde kapitola o nejpoužívanějších akumulátorech, a o nepřerušitelných zdrojích energie. Hlavní součástí této práce je měření na měniči se sinusovým a obdélníkovým tvarem výstupního napětí.

Abstract

This bachelor work deals with the problems DC / AC inverters. There is a basic division of inverters according to the most important criteria and a description of the most common protections built into these converters. There is also a chapter on the most commonly used rechargeable batteries, and uninterruptible power source. The main part of this work is the measurement of the inverter with sinusoidal and rectangular shape of the output voltage.

Klíčová slova: měnič DC/AC, akumulátor, UPS, zátěž

Key word's: inverter DC / AC, battery, uninterruptible power supply, load

Seznam použitých symbolů a zkratek

AC – střídavý proud (A)

DC – stejnosměrný proud (A)

I – proud (A)

P_1 – příkon (W)

P_2 – výkon (W)

R – odpor (Ω)

TR - tranzistor

U – napětí (V)

UPS – nepřerušitelný zdroj energie

USM - usměrňovač

f – frekvence (Hz)

η – účinnost (%)

t – čas (s)

Obsah:

| | |
|---|--------|
| 1. Úvod | - 1 - |
| 2. Rozbor typů DC/AC měničů | - 2 - |
| Popis měničů | - 2 - |
| Použití měničů | - 2 - |
| Rozdělení měničů | - 2 - |
| Nejčastější ochrany používané u měničů | - 6 - |
| Akumulátory | - 7 - |
| UPS | - 8 - |
| 3. Měření na měničích pro různé typy zátěží | - 12 - |
| Popis analyzovaných měničů | - 12 - |
| Čistě odporová zátěž | - 14 - |
| Odporově – induktivní zátěž | - 17 - |
| Zátěž motor | - 23 - |
| 4. Závěr | - 25 - |

1. Úvod

Cílem této práce je analýza komerčně dostupných měničů s ohledem na typ zátěže.

První část této práce obsahuje teoretický rozbor měničů. Měniče jsou zde rozděleny podle tvaru výstupního napětí, a podle principu funkce. Také je zde základní dělení akumulátorů a typy zapojení nepřerušitelných záložních zdrojů.

Ve druhé části práce je praktické měření na měničích se sinusovým a obdélníkovým tvarem výstupního napětí. Měření jsem prováděl pro čistě odporovou zátěž, pro odporově induktivní zátěž a elektromotor. Z naměřených dat jsem potom pro jednotlivé typy zátěží počítal účinnosti.

2. Rozbor typů DC/AC měničů

Popis měničů:

Měnič (nebo také střídač) je elektrické zařízení, sloužící k přeměně stejnosměrného napětí (nebo proudu) na střídavé napětí.

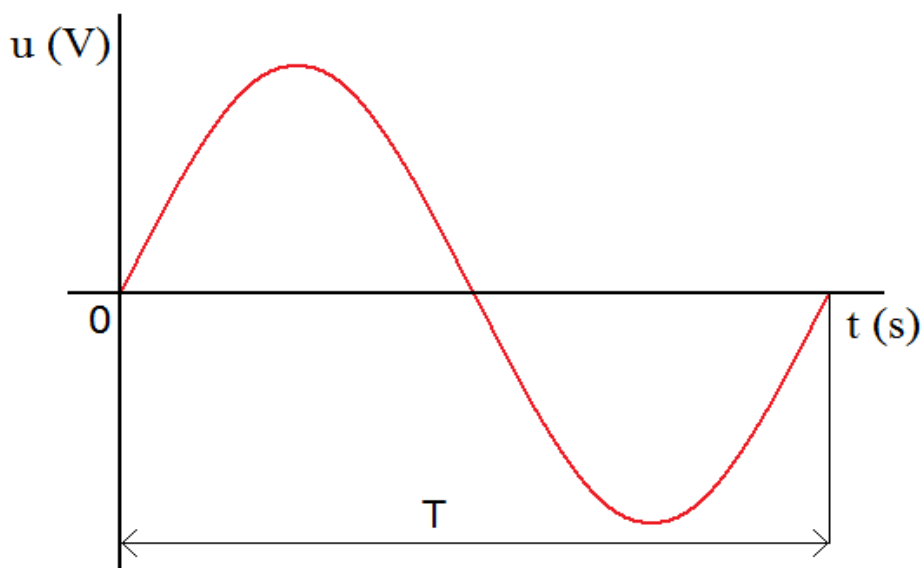
Použití měničů:

Měniče napětí se používají všude tam, kde nemáme možnost spotřebič napájet z elektrické sítě 230V/50Hz. Proto se nejčastěji používají v automobilech, na chalupách, kde je napájíme z akumulátoru nebo palubní sítě vozidla napětím většinou 12 nebo 24V. Často se také využívají jako záložní zdroje (nebo také nepřerušitelný zdroj energie - UPS) počítačů, čerpadel, atd. a všude tam kde potřebujeme nepřetržitý chod elektrického zařízení. Důležité jsou také pro připojení solárních panelů do elektrické sítě, protože panely vyrábějí pouze stejnosměrné napětí.

Rozdělení měničů:

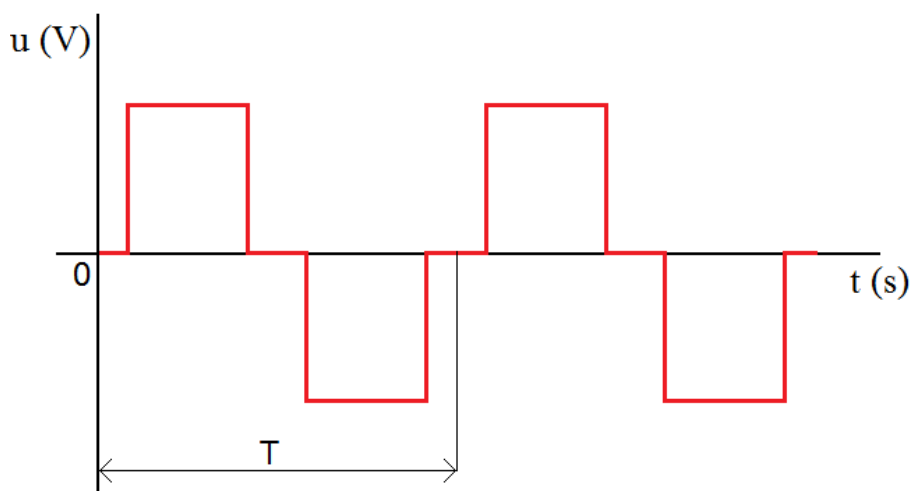
- I. Měniče lze rozdělit podle spousty kritérií. Nejčastěji je dělíme podle tvaru výstupního signálu.

- a) Měnič se sinusovým průběhem. Jeho výstupní napětí má tvar téměř hladké sinusoidy, která je velmi podobná průběhu napětí ze sítě. Tyto měniče se většinou využívají pro elektrická zařízení, které jsou citlivé na kvalitu elektrické energie. Tyto spotřebiče totiž potřebují vyšší rozběhový proud. Jsou to například čerpadla, lednice, atd. Tento měnič se tedy hodí pro většinu běžných spotřebičů, induktivního nebo odporového typu.



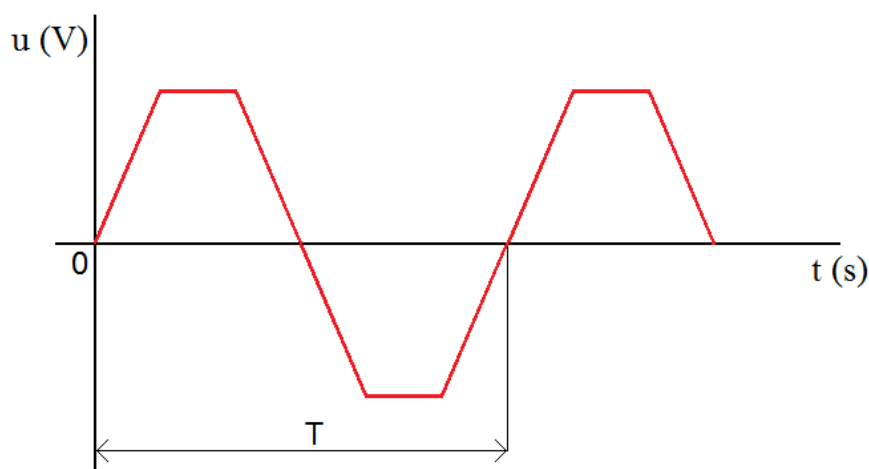
Obr. č. 1 Sinusový průběh

- b) Měnič s obdélníkovým průběhem s prodlevou (nebo také s modifikovanou sinusoidou)
 Jeho výstupní napětí není hladká sinusoida, ale průběh obdélníkového typu. Tento průběh výstupního napětí vyhovuje většině elektrických zařízení, ale jako spotřebiče se většinou používají zařízení, které nejsou tolik citlivé na hodnoty výstupního napětí. U citlivých zařízení totiž může docházet k rušení, anebo zařízení nemusí pracovat vůbec. Při velkém rozběhovém proudu ho totiž měnič vyhodnotí jako chybu a vypne se. Hodí se proto především pro odporové zátěže.



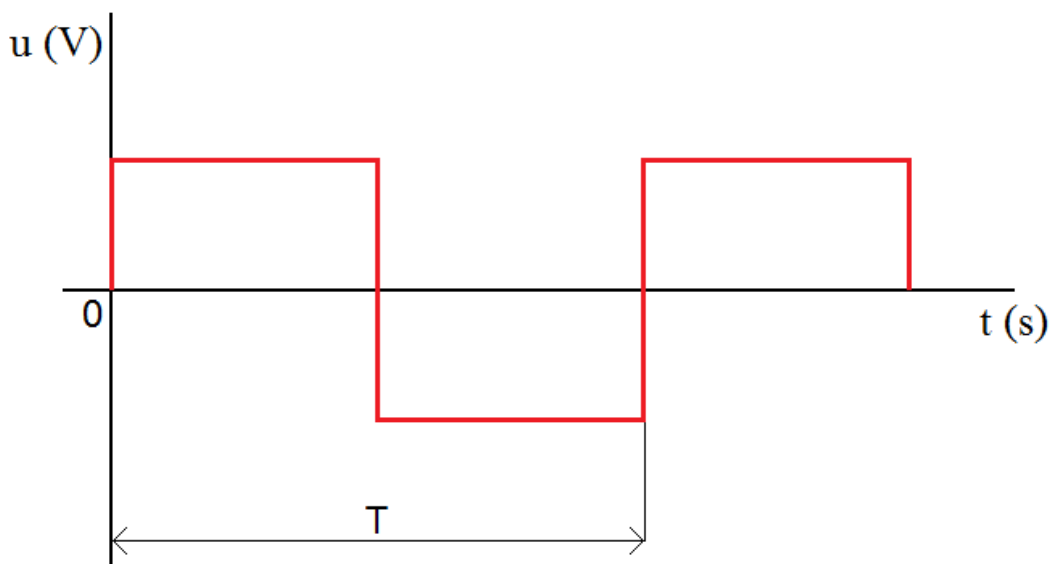
Obr. č. 2 Obdélníkový průběh s prodlevou

- c) Měnič s lichoběžníkovým průběhem. Tento měnič vyrábí výstupní napětí ve tvaru lichoběžníku. Pro většinu spotřebičů je tento průběh napětí dostačující, takže pro méně náročné aplikace není nutné použít měnič se sinusovým tvarem výstupního napětí. Tento střídač je zvláštní v tom, že oproti ostatním střídačům může dosáhnout vysoké účinnosti i při velmi nízkých výkonech. Asi při desetině maximálního výkonu, může dosáhnout účinnosti až 95%. Při maximálním výkonu dosahuje průměrné účinnosti asi 82%.



Obr. č. 3 Lichoběžníkový průběh

d) Měnič s obdélníkovým průběhem. Výstupní napětí tohoto měniče má tvar „tvrdého“ obdélníku, kde se přímo mění polarita napětí z kladné vlny na zápornou. Tento měnič je vhodný pouze pro nenáročné aplikace. Není proto vhodný pro zařízení, která potřebují velký proudový impuls ke svému spuštění. Tento měnič se tolik nepoužívá, častěji se využívá obdélníkový měnič s prodlevou, ten se totiž více podobá sinusovému průběhu napětí z elektrické sítě. [1]



Obr. č. 4 Obdélníkový průběh

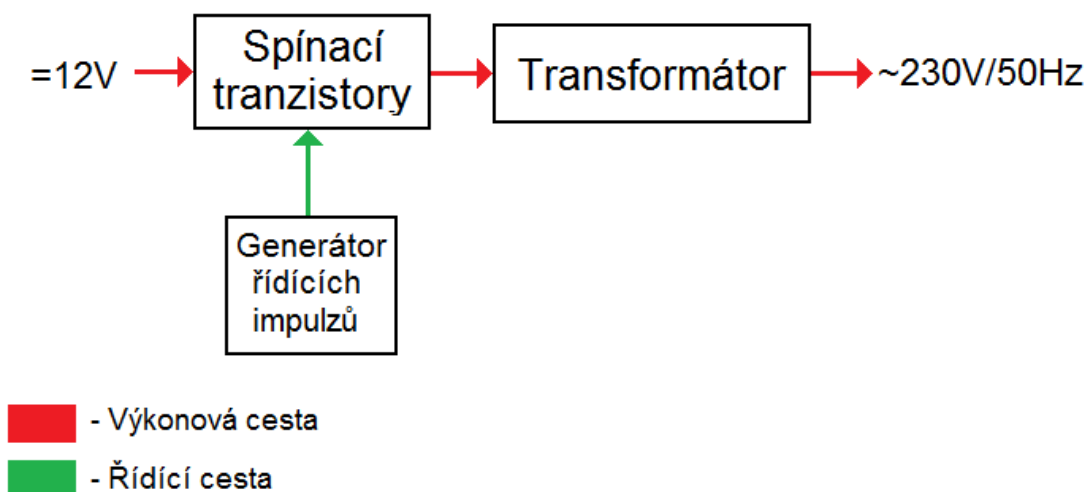
II. Dělení měničů podle výstupního výkonu. U měničů se nejčastěji uvádí dva typy výkonů – trvalý výkon a špičkový výkon.

- a) Trvalý výkon – je to maximální výkon, který můžeme z měniče „trvale“ odebrat po dobu až několik hodin. Tato doba závisí na použitém akumulátoru.
- b) Špičkový výkon – je to výkon, který dokáže měnič dodávat většinou pouze po dobu několika milisekund. Tento typ výkonu je důležitý u zařízení, která potřebují ke spuštění vyšší příkon, ale napěťová špička je velmi krátká. Například u motorů a čerpadel je potřebný příkon několikanásobně větší než ten na štítku, a doba rozběhu je relativně dlouhá, a proto k jejich rozběhu nemusí špičkový výkon stačit.

III. Dále můžeme dělit měniče podle toho, na jakém principu pracují:

a) Analogové měniče.

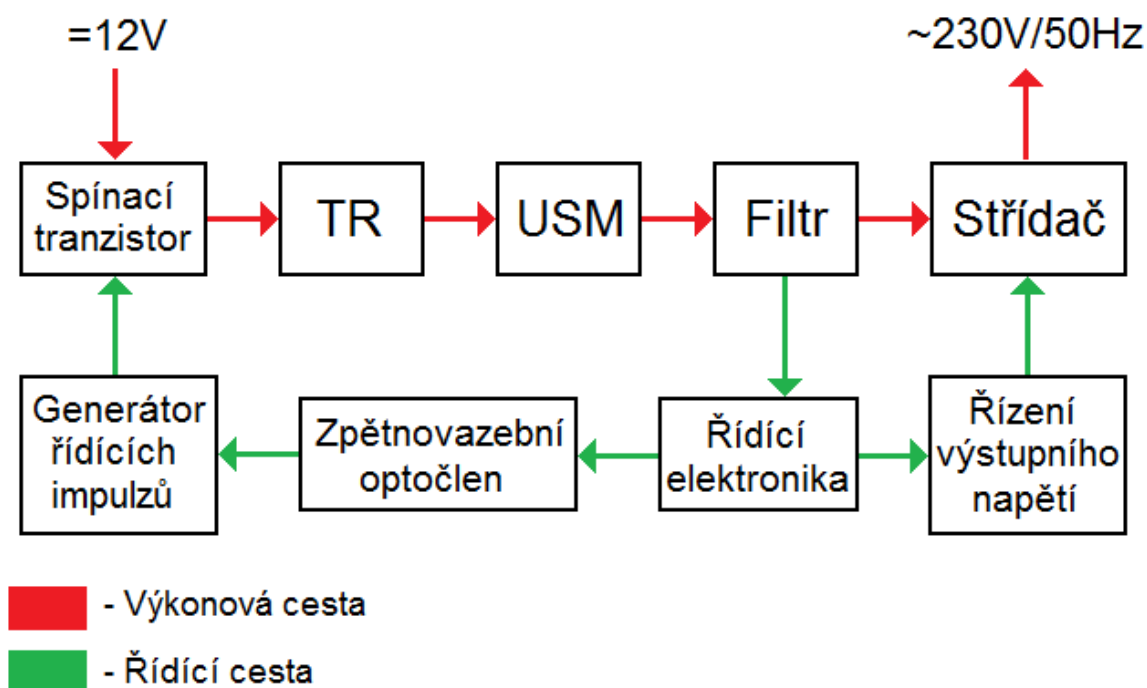
Zde se většinou využívá dvojčinný střídač a transformátor se železným jádrem. U těchto měničů se napětí stejnosměrné z akumulátoru přímo rozstřídá na střídavé napětí 230V o frekvenci 50Hz. Průběh výstupního napětí může mít tvar obdélníku, lichoběžníku, nebo sinusoidy. U analogových měničů ovlivňuje účinnost tvar výstupního napětí. Když bude mít měnič na výstupu průběh čistě obdélníkový, může se účinnost pohybovat až do 90%. Pokud ale budeme chtít mít na výstupu sinusový průběh, musíme výstupní napětí vyhladit filtrem a jeho účinnost bude podstatně menší. Bude se pohybovat zhruba kolem 60%. Hlavní výhodou těchto měničů je jejich jednoduchá konstrukce, a proto jsou taky poměrně levné.



Obr. 5. Schéma analogového měniče

b) Měniče na principu spínaného zdroje.

Tento měnič funguje tak, že stejnosměrné napětí z akumulátoru nízké hodnoty se přetransformuje pomocí tranzistorů (většinou se využívají bipolární tranzistory, nebo MOSFET) na napětí střídavé o vysoké frekvenci (asi 50kHz). Napětí se zvyšuje pomocí transformátoru s feritovým jádrem. Transformátor sice převádí celý výkon, ale jeho rozměry jsou podstatně menší než u analogových měničů, díky vysoké frekvenci. Potom se napětí usměrní a následně rozstřídá v můstkovém střídači na hodnotu napětí elektrické sítě – 230V/50Hz. Dnes je tento typ měničů nejpoužívanější. Jeho výhody jsou: výborná účinnost – až 90%, malá vlastní spotřeba, i při větších výkonech jsou poměrně malé a lehké (oproti analogovým měničům). [2]



Obr. 6. Schéma měniče na principu spínaného zdroje

Nejčastější ochrany používané u měničů:

- Tepelná ochrana – tato ochrana vypne měnič, když jeho teplota překročí povolenou hodnotu. Když teplota měniče poklesne, tak se opět zapne.
- Ochrana proti přepětí na výstupu – při připojení indukčního zařízení např. motoru, se po vypnutí na krátký čas stane zdrojem napětí, který působí na výstup již vypnutého měniče. Spotřebič se tak na krátký čas stane zdrojem napětí, které by mohlo měnič zničit.
- Ochrana proti přepólování vstupu – tato ochrana kontroluje, zda nedošlo při připojování akumulátoru k přepólování.
- Ochrana proti zkratu na výstupu – chrání měnič proti případnému spojení výstupních svorek.
- Ochrana proti úplnému vybití akumulátoru – při poklesu napětí na akumulátoru na hranici 10,5V zazní zvukové upozornění, a měnič se od akumulátoru odpojí. Tato ochrana je důležitá, bez ní by se mohl akumulátor nenávratně zničit.
- Ochrana proti přepětí na vstupu – tato ochrana odpojí vstup měniče v případě, že se na vstupu objeví vyšší vstupní napětí než je dovoleno. U měničů s napájecím napětím 12V je hranice vypnutí většinou 16V, u měničů napájených 24V je hranice asi 32V. [3]

Akumulátory:

K napájení měničů se používají různé typy akumulátorů. To jak dlouho bude měnič v provozu, záleží na jeho výkonu a na použitém akumulátoru. Když k měniči s výkonem např. 2000W připojíme akumulátor s malou kapacitou, tak se měnič vůbec nemusí zapnout, nebo bude akumulátor velkým odběrem proudu přetěžován, a může dojít k jeho poškození. V takovémto případě bude doba provozu velmi krátká. Proto je důležité vybrat k měniči vhodný akumulátor s dostatečnou kapacitou. Je také velmi důležité, připojit akumulátor k měniči kabely s dostatečně velkým průřezem, a použít co nejkratší. Kdybychom použili dlouhé přívodní kabely, nebo s nedostatečným průměrem, bude vznikat značná přenosová ztráta. Nejběžnější hodnoty napětí jsou 12V a 24V. [4], [5]

Akumulátory lze rozdělit:

I. Podle provedení:

- a) Otevřené
- b) Uzavřené

II. Podle typu elektrolytu:

- a) S kyselým elektrolytem
- b) Se zásaditým elektrolytem
- c) S bezvodým elektrolytem

III. Podle principu:

- a) Olověný
- b) Nikl - kadmiový
- c) Nikl – metal hydridový
- d) Lithium – iontový
- e) Lithium – polymerový

Olověný akumulátor:

Je tvořen dvěma elektrodami, kladnou (oxid olova) a zápornou (olovo), elektrolyt tvoří kyselina sírová, která je většinou ve formě gelu. Napětí jednoho článku je 2V. Nejčastěji se vyrábí šestičlánekový. Jeho výhody jsou vysoká kapacita a dlouhá životnost. Nevýhodou je vysoká hmotnost, vadí mu úplné vybití a použití olova, které je třeba ekologicky zlikvidovat. Tyto akumulátory se velmi často používají v malých systémech UPS, i ve velkých záložních systémech.

Nikl – kadmiový:

Zde je elektrolyt vázán v separátu a elektrodách. Napětí na jednom článku je 1,2V. K jeho výhodám patří rychlé nabíjení, vysoký počet nabíjecích cyklů a možnost pracovat i při velmi nízkých teplotách (-40°C). Nevýhodou je rychlé samovybíjení a použití toxických prvků.

Nikl – Metal hydridový:

Jde v podstatě o zdokonalený předchozí typ. Oproti Ni-Cd mají vyšší kapacitu (asi o 40% při stejné velikosti Ni-Cd) a nižší hmotnost. Napětí na jednom článku je 1,2V. Mezi výhody patří rychlé nabíjení a schopnost udržet téměř konstantní napětí až do úplného vybití. Nevýhody jsou poměrně rychlé samovybíjení a nízký počet nabíjecích cyklů. Tyto akumulátory jsou poměrně rozšířené, používají se zejména v mobilních telefonech.

Lithium – iontový:

Byly vyvinuty z lithiových článků. Napětí na jednom článku je 3,6V, a proto mají dobrý poměr akumulované energie v porovnání s váhou oproti např. článkům Ni-Mh. Mezi výhody tedy patří vysoká kapacita, nízká hmotnost a vysoký počet nabíjecích cyklů. K nevýhodám patří rychlé stárnutí (životnost 2-3 roky), dlouhá doba nabíjení a při extrémních podmínkách mohou vybuchnout. Tyto akumulátory se nejčastěji používají v přenosných zařízeních, jako jsou mobilní telefony a notebooky.

Lithium – polymerový:

Jsou velmi podobné akumulátorům Li-ion, napětí na jednom článku je 3,6V. Výhodou je vysoká kapacita, vysoká výkonnost, nízká hmotnost a velmi malé samovybíjení. Nevýhodou je nutnost použití elektronické ochrany při nabíjení a vybíjení, protože poklesne-li jeho napětí pod 2,7V může se nenávratně zničit. Tyto akumulátory jsou velmi rozšířené a používají se hlavně v mobilních telefonech a notebookech.

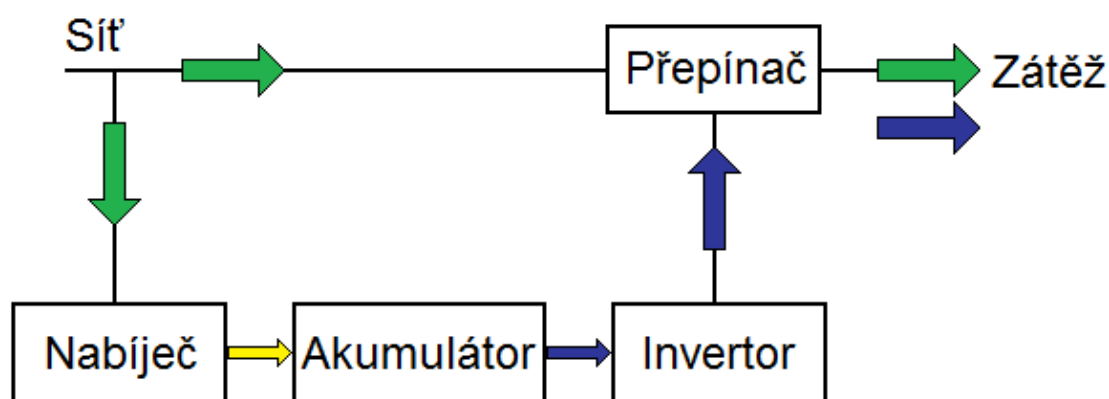
UPS:

Nepřerušitelný zdroj energie (Uninterruptible Power Source - UPS) je zařízení nebo systém, který zajišťuje souvislou dodávku elektrické energie při výpadku napájení ze sítě zařízení, která nesmějí být neočekávaně vypnuta. Nejčastěji používá jako záložní zdroj počítače, oběhová čerpadla, systémů letišť, nemocnic apod.

UPS se většinou skládá ze tří hlavních částí: nabíječ, akumulátor a střídač. Dříve byly komponenty zapojovány samostatně, dnes má střídač integrován nabíječ a k němu se potom připojí akumulátor. Nejčastěji se využívá olověný. [6]

Druhy zapojení záložních zdrojů:

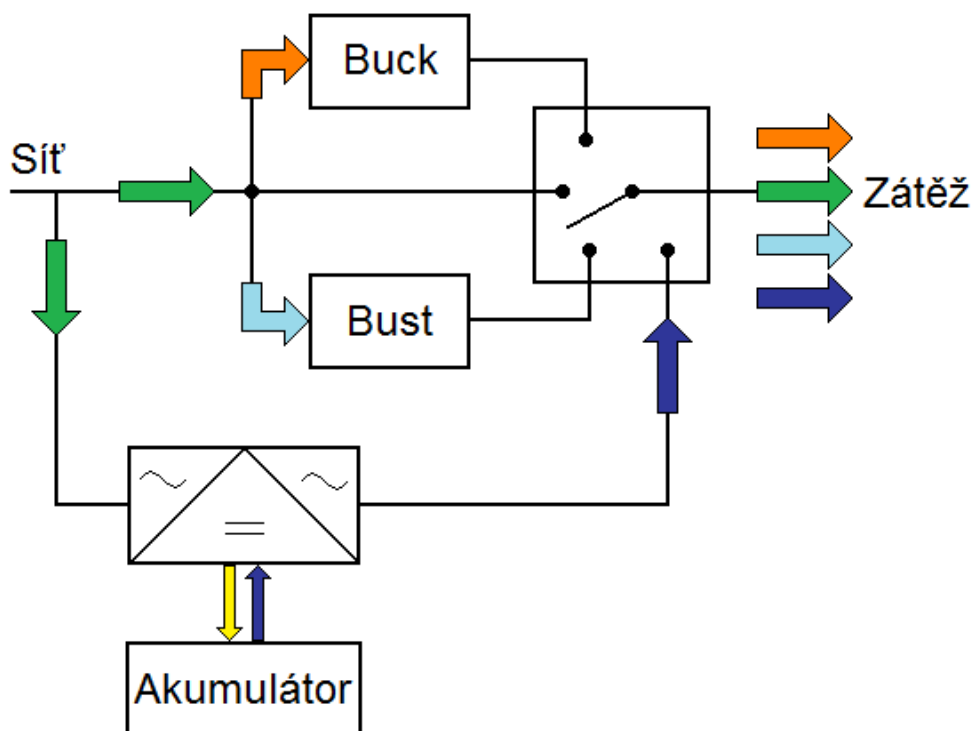
- I. UPS Off-line – tento typ je nejjednodušší. Napájí připojené spotřebiče přímo z elektrické sítě. Když dojde k poruše sítě, čerpá zdroj energii z akumulátoru a na výstupu je generováno střídavé napětí, které je elektronicky stabilizováno. Toto napětí má obvykle obdélníkový průběh. Takovéto zapojení umožňuje využití množství prvků zdroje v obou režimech provozu. Tímto se zařízení velmi zjednoduší a jeho cena se sníží. Rušivé vlivy a poruchy nejsou potlačovány tak dokonale jako např. u typu On-line. Při přepínání provozních režimů dochází ke krátkodobému výpadku v napájení zátěže. Proto se záložní zdroje Off-line používají k méně důležitým a k nenáročným aplikacím jako je třeba méně náročné zálohování napájení, u kterého nevádí malé potlačení poruch sítě, větší kolísání výstupního napětí, nesinusové výstupní napětí a několika-milisekundové výpadky při přepnutí. Výpadky ale zpravidla nejsou delší než 4 milisekundy.



Obr. č.7 Schéma UPS typu off-line

- II. UPS Line interactive – Jde v podstatě o zdokonalenou variantu typu off-line. Oproti předešlému typu umí upravit přepětí nebo podpětí bez použití energie z akumulátoru. Stabilizace se provádí po krocích v různém počtu stupňů, podle typu záložního zdroje. Spotřebiče jsou napájeny přes filtr z veřejné sítě, přičemž jsou baterie dobíjeny. Když dojde k poruše napájecí sítě (úplný výpadek, napětí mimo toleranci) tak je energie čerpána z baterií, a na výstupu je generováno elektronicky stabilizované střídavé napětí. Pokud vstupní napětí překročí přepínací úroveň, záložní zdroj se přepne do režimu zálohování. Přepnou se odbočky na regulačním transformátoru a vrátí se napájení na síť. Tentokrát už s jiným výstupním napětím záložního zdroje, v užší toleranci než má vstupní síťové napětí. Každé přepnutí transformátoru je provázeno dvojitým skokem do režimu zálohování a zpět do provozního režimu napájením sítě. U sítí, kde jsou časté

výpadky nebo dochází k velkému rozsahu kolísání napětí, se velmi často přepínají odbočky vyrovnávacího transformátoru a tím dochází k výskytu dvojnásobného krátkodobého výpadku ve výstupním napětí záložního zdroje a vybíjení baterií (vždy po dobu přepnutí síť – střídač, střídač - síť). Rušivé vlivy a poruchy jsou potlačovány jen mírně lepším způsobem než u záložních zdrojů off-line. Tohle se ale týká pouze pomalého kolísání napětí. Když se přepínají provozní režimy, dochází k dvojnásobnému krátkodobému výpadku (většinou několik milisekund) v napájení zátěže. U dokonalejších typů s větším výkonem se přepínání provádí ve více stupních, kdy je možné zvolit buď větší, nebo menší citlivost pro přepnutí podle skutečného kolísání sítě v daném místě.

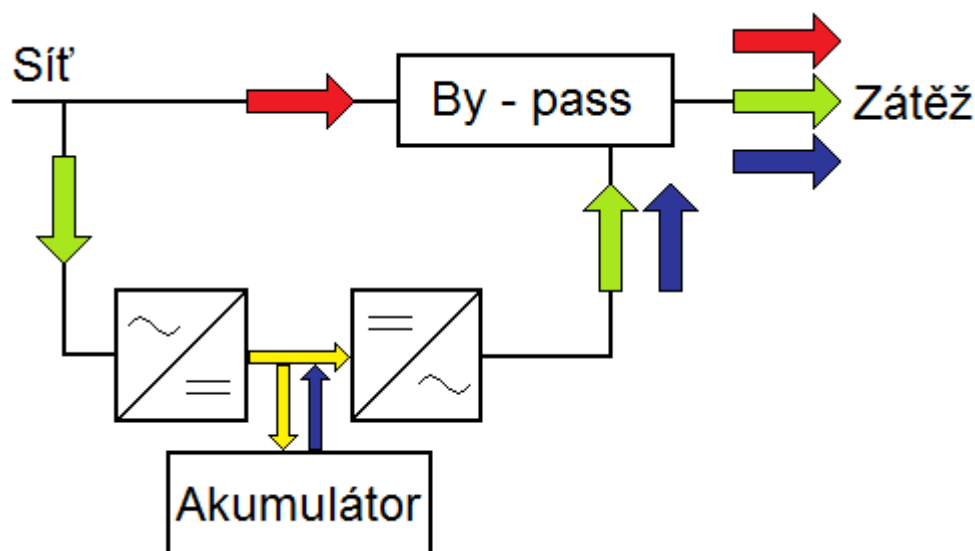


Obr. č. 8 Schéma UPS typu line interactive

Tyto vlastnosti určují oblast použití záložních zdrojů line-interactive na méně důležité a méně náročné zálohování napájení, kde tolik nevádí malé potlačení rychlých poruch v síti, stupňovité kolísání výstupního napětí (které je ale menší než u typů off-line), kde je na výstupu přímo síťové nestabilizované napětí, případné nesinusové výstupní napětí a krátkodobé výpadky při přepnutí v nejjednodušších typech těchto záložních zdrojů. Při výpadku napájecí sítě není mezi záložními zdroji offline a line-interactive rozdíl. Začne se napájet střídač z akumulátoru a současně se přepne výstup záložního zdroje na výstup střídače. Střídač je napájen z akumulátoru a na výstupu je stabilizované napětí. Doba potřebná k přepnutí zpravidla nepřesahuje 4 milisekundy. Když nedojde k návratu síťového napětí, napájí střídač zátěž tak dlouho, dokud nenastane vybití akumulátoru na dovolenou hranici (obvykle to bývá 10,5V). Po obnovení napájení ze sítě dojde

po synchronizaci se sítovým napětím k opětovnému přepnutí zátěže na napájení ze sítě, a akumulátory se začnou nabíjet.

- III. UPS On-line – neboli stále v provozu. Je to nejlepší varianta záložního zdroje. Používá se v náročnějších aplikacích. Vstupní napětí prochází vstupním měničem, který ho usměrní. Ten dobíjí baterie a napájí výstupní měnič, který stejnosměrné napětí rozstřídá. Připojené spotřebiče jsou tedy vždy napájeni stabilizovaným střídavým napětím ze střídače. Při výpadku elektrické sítě je střídač okamžitě napájen z akumulátorů. Všechny rušivé vlivy a poruchy veřejné napájecí sítě jsou potlačeny. Většina typů záložních zdrojů odebírá ze sítě proud sinusového průběhu, čímž se zamezí nežádoucím zpětným vlivům na napájecí síť. Zdroje on-line bývají často vybaveny tzv. obtokem (bypass), který při poruše, nebo velkém přetížení automaticky přepne zálohovanou zátěž přímo na síť. Při přepnutí není na průběhu výstupního napětí záložního zdroje patrná žádná změna, přechod je naprosto plynulý. Zdroje on-line tedy mají na výstupu stále předem nastavené konstantní nově generované sinusové napětí, aniž by využívaly energii z akumulátoru. Jedinou významnou nevýhodou zdrojů on-line je nižší účinnost. Ta bývá obvykle těsně nad hranicí 90%. To je způsobeno především ztrátami při dvojí přeměně energie. Proto některé zdroje on-line mají tzv. funkci eko-módu. V takovémto režimu zdroj napájí spotřebič přes obtok, a střídač je v provozu naprázdno, a jeho výstupní napětí je ve stejné fázi jako napětí sítě. Když nastane porucha vstupního napětí, přejde napájení spotřebiče spojitě na výstupní měnič. Tímto se dá dosáhnout provozní účinnosti až 98%.



Obr. č. 9 Schéma UPS on-line

3. Měření na měničích pro různé typy zátěží

Popis analyzovaných měničů:

Měření jsem prováděl na dvou typech měničů:

1. Měnič s obdélníkovým tvarem výstupního napětí s prodlevou:

- Stálý výkon 150W
- Napájecí napětí 12V
- Výstupní napětí 230V
- Výstupní frekvence 50Hz
- Ochrany měniče:
 - ochrana proti přetížení
 - elektronická tepelná pojistka
 - ochrana proti podpětí - automatické vypnutí při poklesu napětí akumulátoru

2. Měnič s čistým sinusovým tvarem výstupního napětí:

- Stálý výkon 600W
- Špičkový výkon 1200W
- Napájecí napětí 12V
- Výstupní napětí 230V
- Výstupní frekvence 50Hz
- Ochrany měniče:
 - ochrana proti přetížení
 - ochrana proti přehřátí
 - ochrana proti přepětí na vstupu
 - ochrana proti podpětí na vstupu
 - ochrana proti zkratu na výstupu
 - ochrana proti přepólování

- fotografie analyzovaných měničů:

1. Měnič s obdélníkovým tvarem výstupního napětí:



Přední panel



Zadní panel

2. Měnič se sinusovým tvarem výstupního napětí:



Přední panel



Zadní panel

Použité přístroje při měření:

- Osciloskop Agilent technologies DSO 1012A
- Osciloskop LeCroy MSO 44MXs
- Diferenciální sonda LeCroy 1000V rms/1400V špička
- Proudová sonda LeCroy 30A, 50MHz
- Multimetr mastech MY-64

K napájení měničů jsem použil akumulátor 12V.

Měření na měničích jsem prováděl na několika typech zátěží, pro různé velikosti výkonu. Měřil jsem čistě odporovou zátěž, odporově – induktivní zátěž, a malý elektromotor. Typy zátěží jsem vybral tak, aby co nejvíce odpovídaly nejběžnějším spotřebičům, které můžeme těmito měniči napájet. Většinu dat jsem měřil osciloskopem Agilent technologies DSO 1012A. Vstupní a výstupní proudy jsem měřil nepřímo. Měřil jsem napětí na rezistorech, a z něj jsem potom vypočítal velikost proudu. Hodnoty rezistorů jsou: $R_1 = 0,1\Omega$, $R_2 = 4,7\Omega$.

1. Čistě odporová zátěž:

a) Měnič s obdélníkovým tvarem výstupního napětí.

| Výkon (W) | U_1 (V) | U_2 (V) | U_{R1} (V) | U_{R2} (V) | I_1 (A) | I_2 (A) | P_1 (W) | P_2 (W) | η (%) |
|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 15 | 12 | 242 | 0,191 | 0,31 | 1,91 | 0,066 | 22,92 | 15,96 | 69,6 |
| 25 | 12,4 | 240 | 0,268 | 0,52 | 2,68 | 0,111 | 33,23 | 26,55 | 79,9 |
| 40 | 12,4 | 240 | 0,42 | 0,84 | 4,2 | 0,179 | 52,08 | 42,89 | 82,4 |
| 60 | 12 | 240 | 0,63 | 1,25 | 6,3 | 0,266 | 75,60 | 63,83 | 84,4 |
| 75 | 12,4 | 239 | 0,718 | 1,58 | 7,18 | 0,336 | 89,03 | 80,34 | 90,2 |
| 100 | 12,4 | 237 | 0,851 | 1,96 | 8,51 | 0,417 | 105,52 | 98,83 | 93,7 |
| 125 | 12 | 210 | 1,1 | 2,78 | 11 | 0,591 | 132,00 | 124,21 | 94,1 |

Příklad výpočtu účinnosti pro zátěž 25W:

$$I_1 = \frac{U_{R1}}{R_1} = \frac{0,268}{0,1} = 2,68 \text{ A}$$

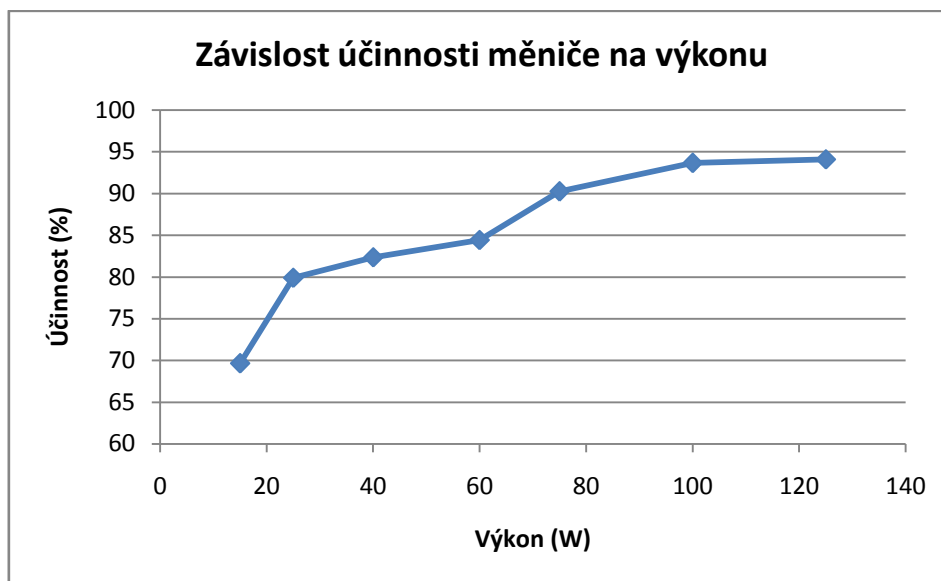
$$I_2 = \frac{U_{R2}}{R_2} = \frac{0,52}{4,7} = 0,111 \text{ A}$$

$$P_1 = U_1 * I_1 = 12,4 * 2,68 = 33,23 \text{ W}$$

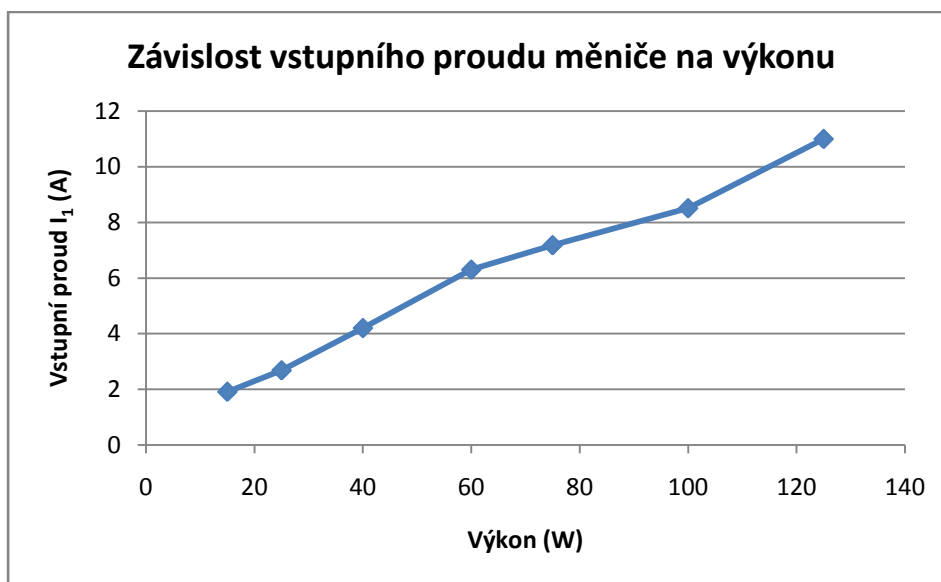
$$P_2 = U_2 * I_2 = 240 * 0,111 = 26,55 \text{ W}$$

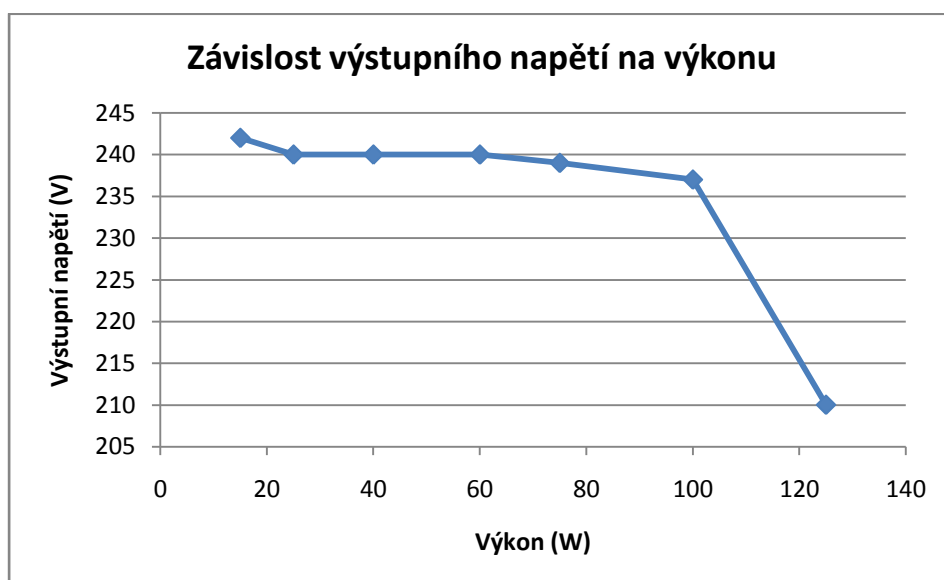
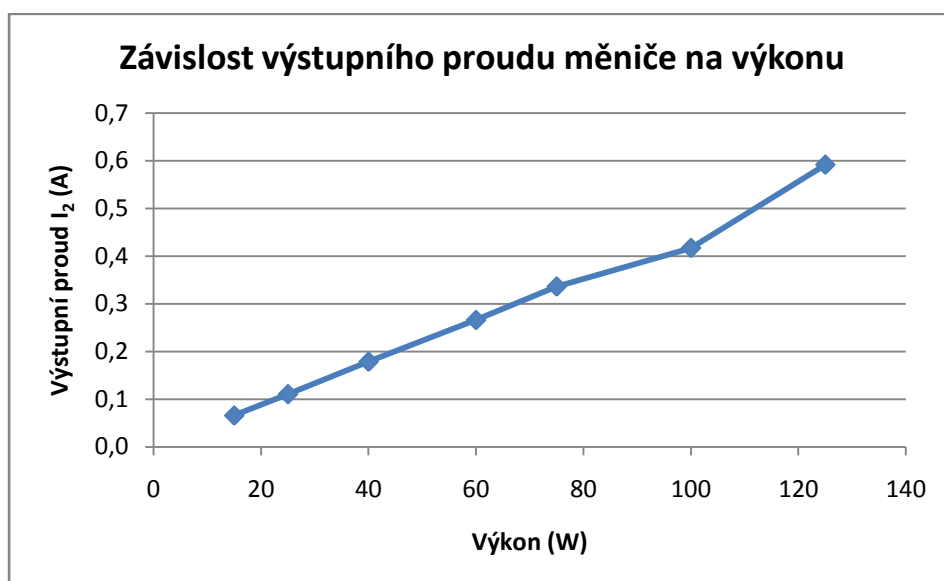
$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{26,55}{33,23} = 0,799$$

Při měření jsem zjistil, že velikost výkonu spotřebiče má poměrně velký vliv na účinnost měniče. Při nižších výkonech, asi do 25W, má měnič velmi malou účinnost, jen kolem 70%. Při výkonech od 25W do 60W se účinnost pohybuje kolem 85%. Úplně nejlepší účinnost měl měnič, když byl plně zatížen. Pohybovala se od 90 do 94%.



Do grafů jsem vynesl závislosti vstupních a výstupních proudů na výkonu. Se zvětšujícím výkonem na zátěži, vstupní a výstupní proudy rostou téměř lineárně. Vstupní napětí bylo po celou dobu měření téměř konstantní. Výstupní napětí se postupně snižovalo. Nejvyšší hodnoty bylo dosaženo u zátěže 15W, potom se asi do výkonu 60W drželo na hodnotě 240V. U větších výkonů se napětí začalo prudce snižovat. Nejnižší hodnotu jsem naměřil při zátěži 125W, napětí bylo pouze 210V.





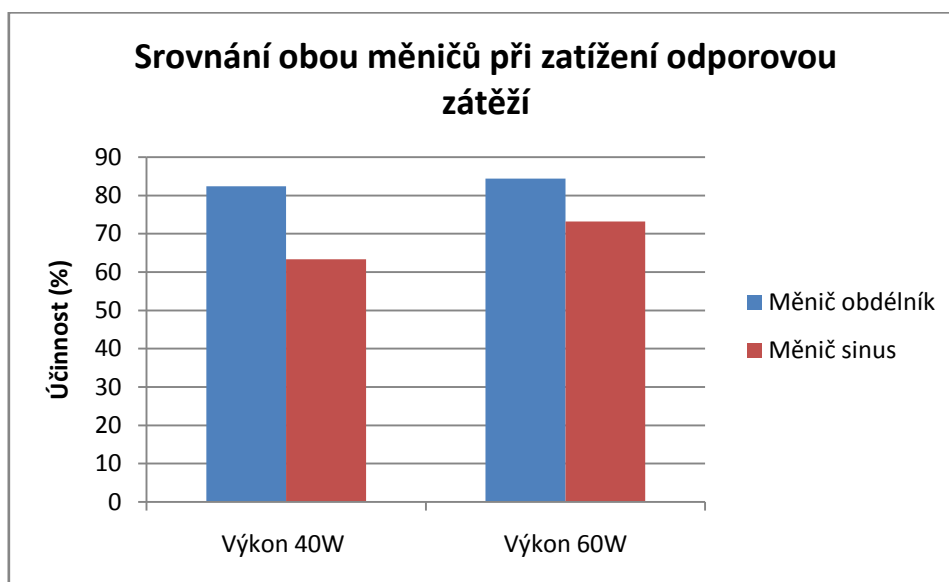
b) Měnič se sinusovým tvarem výstupního napětí - tohoto měniče se mi povedlo bohužel změřit méně hodnot, kvůli jeho poruše. Pravděpodobně šlo o chybu v řídicí části měniče.

| Výkon (W) | U_1 (V) | U_2 (V) | U_{R1} (V) | U_{R2} (V) | I_1 (A) | I_2 (A) | P_1 (W) | P_2 (W) | η (%) |
|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| 40 | 12,2 | 232 | 0,495 | 0,775 | 4,95 | 0,165 | 60,39 | 38,26 | 63,3 |
| 60 | 12 | 232 | 0,697 | 1,24 | 6,97 | 0,264 | 83,64 | 61,21 | 73,2 |

Z naměřených hodnot vyplývá, že se při čistě odporové zátěži účinnost měniče zvyšuje se zvyšujícím se výkonem na zátěži. Platí tedy to samé co u měniče s obdélníkovým výstupem.

Tady je srovnávací tabulka obou měničů. Je zde vidět podstatný rozdíl v účinnostech obou měničů při zatížení odporovou zátěží. Zatímco měnič s obdélníkovým tvarem výstupního napětí má při výkonu na zátěži pohybujícím se od 40 do 60W velmi dobrou účinnost pohybující se kolem 83%, měnič se sinusovým tvarem výstupního napětí při tom samém výkonu má účinnost poměrně špatnou, ta se pohybuje kolem 68%. To je zřejmě způsobeno filtrem, který má tento měnič na výstupu. Tento filtr sice vyhlazuje napětí na téměř čistý sinusový průběh, což je důležité pro zařízení citlivá na tvar výstupního napětí, ale velmi snižuje účinnost měniče při odporové zátěži.

| | Výkon (W) | U_1 (V) | U_2 (V) | U_{R1} (V) | U_{R2} (V) | I_1 (A) | I_2 (A) | P_1 (W) | P_2 (W) | η (%) |
|----------|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Obdélník | 40 | 12,4 | 240 | 0,42 | 0,84 | 4,20 | 0,18 | 52,08 | 42,89 | 82,4 |
| | 60 | 12,0 | 240 | 0,63 | 1,25 | 6,30 | 0,27 | 75,60 | 63,83 | 84,4 |
| Sinus | 40 | 12,2 | 232 | 0,50 | 0,78 | 4,95 | 0,16 | 60,39 | 38,26 | 63,3 |
| | 60 | 12,0 | 232 | 0,70 | 1,24 | 6,97 | 0,26 | 83,64 | 61,21 | 73,2 |



- Odporově – induktivní zátěž.** Měření jsem prováděl pouze na měniči s obdélníkovým průběhem, protože sinusový měnič se porouchal. Měřil jsem při dvou hodnotách indukčnosti, které byly konstantní, a potenciometrem jsem nastavoval různé hodnoty odporu. Hodnoty výkonu na zátěži byly v rozmezí od 30W do zhruba 100W. Hodnoty jsem měřil osciloskopem LeCroy MSO 44MXs. Pro měření napětí jsem použil diferenciální sondu. Proud jsem měřil přímo, proudovou sondou.

a) Hodnoty pro konstantní indukčnost 29,6 mH

| U ₁ (V) | U ₂ (V) | I ₁ (A) | I ₂ (mA) | R (Ω) | P ₁ (W) | P ₂ (W) | η (%) |
|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------|--------------------|--------------------|-------|
| 12 | 243,5 | 3,31 | 137 | 1777,37 | 39,72 | 33,36 | 84,0 |
| 11,79 | 243,2 | 4,32 | 181 | 1343,65 | 50,93 | 44,02 | 86,4 |
| 11,71 | 241,5 | 5,26 | 221 | 1092,76 | 61,59 | 53,37 | 86,6 |
| 11,63 | 237 | 6,09 | 256 | 925,78 | 70,83 | 60,67 | 85,7 |
| 11,48 | 230,4 | 7,32 | 312 | 738,46 | 84,03 | 71,88 | 85,5 |
| 11,04 | 215,2 | 10,3 | 453 | 475,06 | 113,71 | 97,49 | 85,7 |

Příklad výpočtu účinnosti při výkonu 44W:

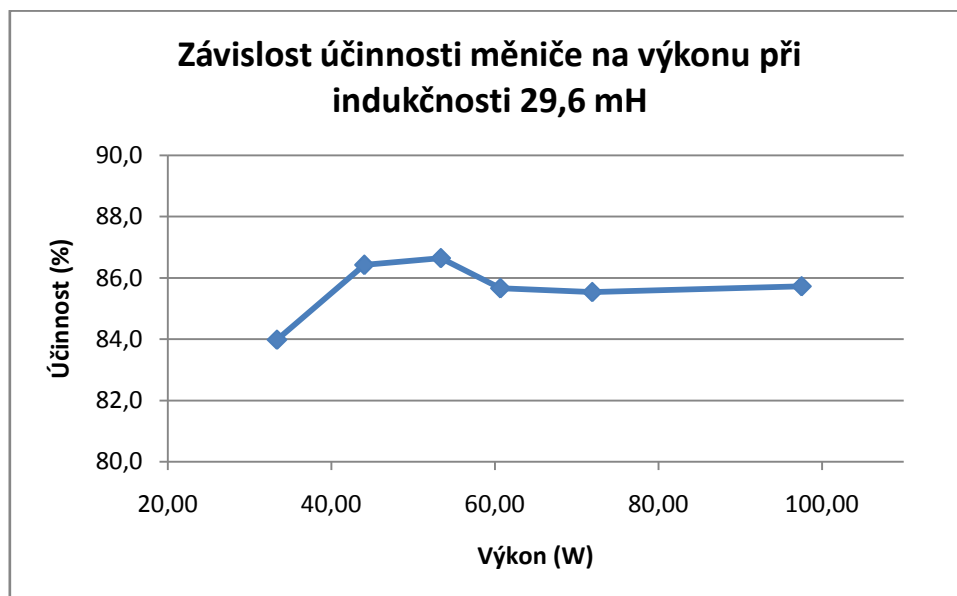
$$R = \frac{U_2}{I_2} = \frac{243,2}{0,181} = 1343,65 \Omega$$

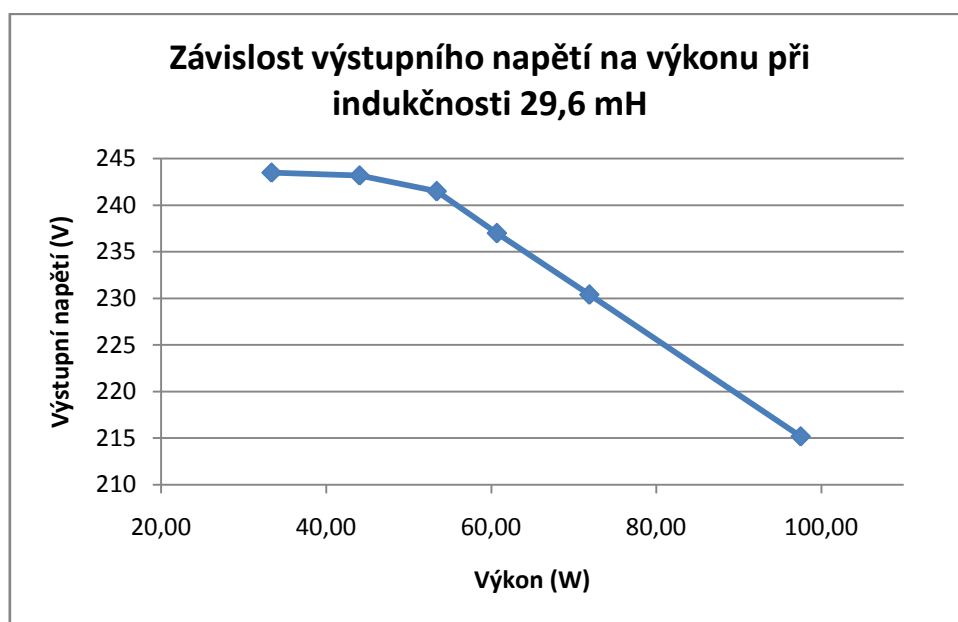
$$P_1 = U_1 \cdot I_1 = 11,79 \cdot 4,32 = 50,93 \text{ W}$$

$$P_2 = U_2 \cdot I_2 = 243,5 \cdot 0,181 = 44,02 \text{ W}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{44,02}{50,93} = 0,864$$

Při konstantní indukčnosti 29,6 mH se účinnost pohybovala kolem 85,5%. Nejnižší účinnosti bylo dosaženo při nejnižší hodnotě výkonu. Účinnost byla 84%. Při výkonu kolem 50W byla účinnost nejlepší, dosahovala hodnot téměř 87%. Při maximálním výkonu téměř 100W byla účinnost 85,7%. Na rozdíl od čisté odporové zátěže byla účinnost při RL zátěži téměř konstantní a pohybovala se od 84 do 86%. Při odporové zátěži byly rozdíly v účinnosti podstatně větší. Při nízkých výkonech byla účinnost měniče lepší u RL zátěže, naopak při větších výkonech byla lepší u odporové zátěže.

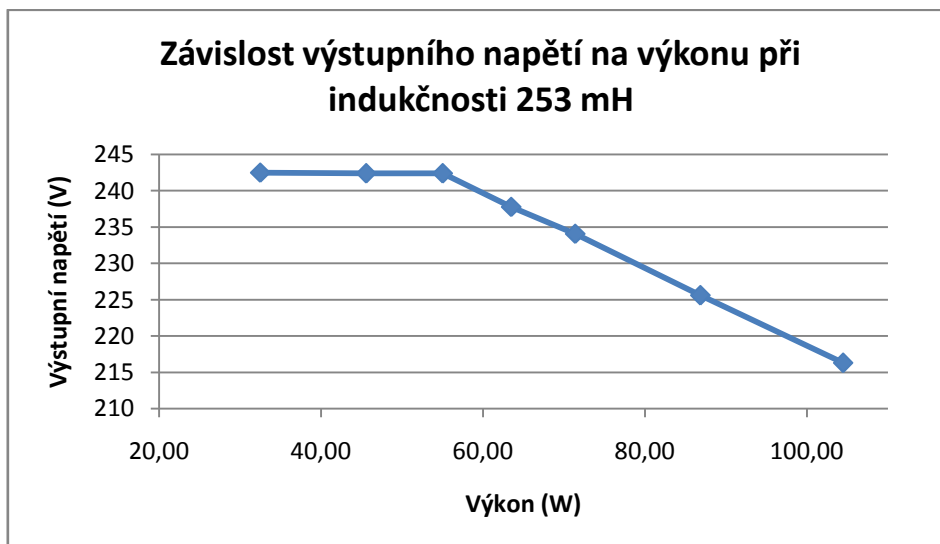
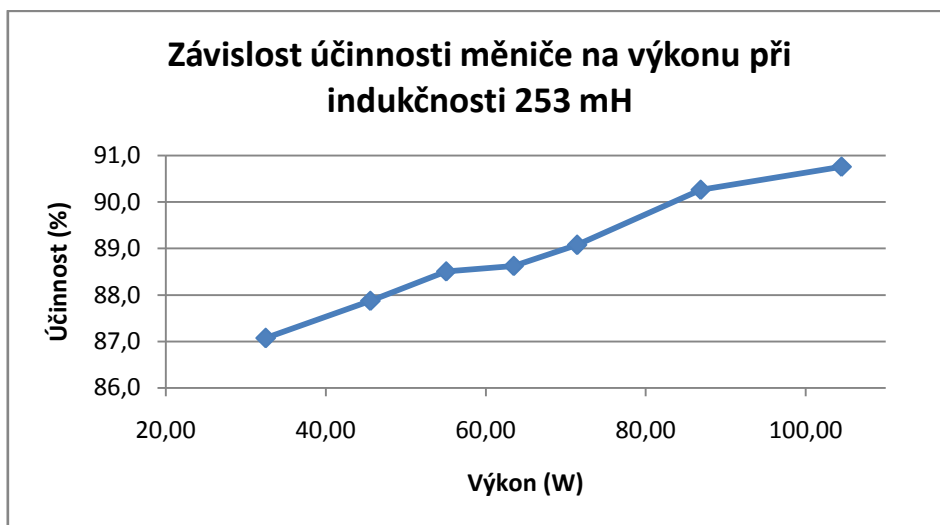




b) Hodnoty pro konstantní indukčnost 253 mH

| U_1 (V) | U_2 (V) | I_1 (A) | I_2 (mA) | R (Ω) | P_1 (W) | P_2 (W) | η (%) |
|-----------|-----------|-----------|------------|------------------|-----------|-----------|------------|
| 12 | 242,5 | 3,11 | 134 | 1809,70 | 37,32 | 32,50 | 87,1 |
| 11,84 | 242,4 | 4,38 | 188 | 1289,36 | 51,86 | 45,57 | 87,9 |
| 11,73 | 242,4 | 5,3 | 227 | 1067,84 | 62,17 | 55,02 | 88,5 |
| 11,63 | 237,8 | 6,16 | 267 | 890,64 | 71,64 | 63,49 | 88,6 |
| 11,55 | 234,1 | 6,94 | 305 | 767,54 | 80,16 | 71,40 | 89,1 |
| 11,32 | 225,6 | 8,5 | 385 | 585,97 | 96,22 | 86,86 | 90,3 |
| 11,1 | 216,3 | 10,37 | 483 | 447,83 | 115,11 | 104,47 | 90,8 |

Při indukčnosti 253 mH se průměrná účinnost zvýšila. Při nejnižším výkonu na zátěži byla účinnost měniče nejmenší, a to 87,1%. Při výkonu od 50 do 70W se účinnost zvýšila, a pohybovala se kolem 88%. Nejvyšší účinnost měniče byla při maximálním výkonu při 104W, dosáhla hodnoty 90,8%. Oproti menší konstantní indukčnosti byla účinnost při větší indukčnosti v průměru o 4% lepší.



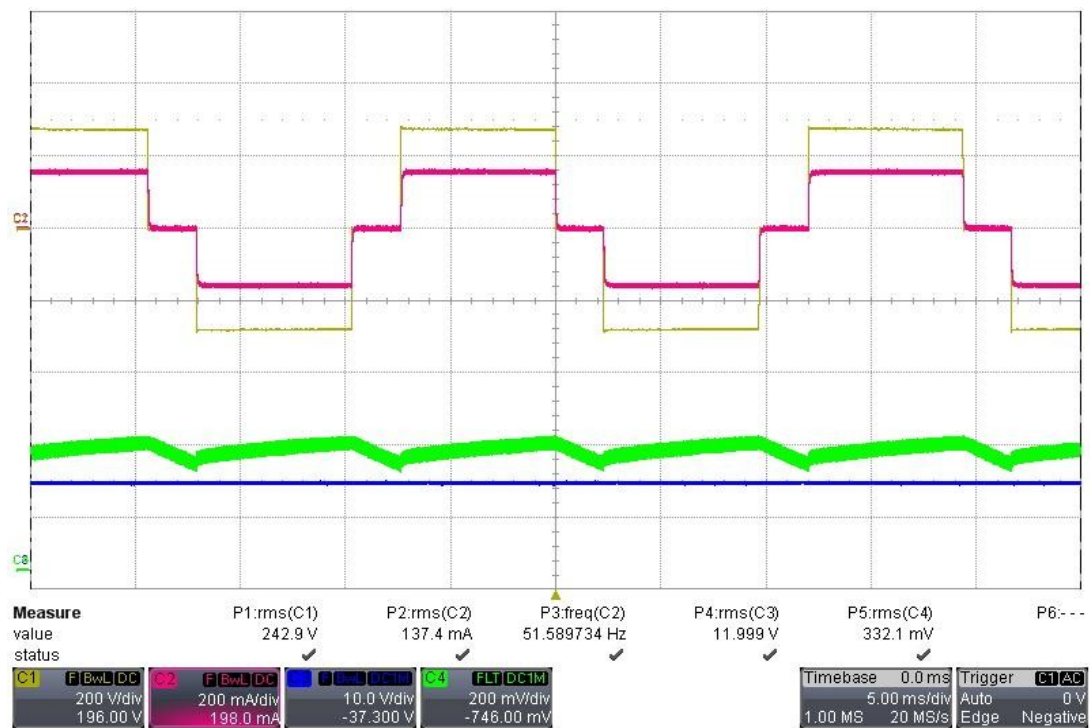
Průběhy napětí a proudů při indukční zátěži:

Na následujících snímcích jsou průběhy proudů a napětí při zatížení měniče RL zátěží. Průběhy č. 1 a 2 jsou při konstantní indukčnosti 29,6 mH. Průběhy č. 3 a 4 jsou při konstantní indukčnosti 253 mH. Na průběhu č. 1 je napětí a proud při malém výkonu 30W. Tvar výstupního proudu je téměř čistý obdélník. Na průběhu č. 2 je napětí a proud při maximálním výkonu 100W. Zde už je vidět, že náběžné hrany proudu jsou více zaoblené, ale pořád je to téměř čistý obdélníkový průběh. Průběh výstupního proudu na snímku č. 3 je již více deformován. Na průběhu č. 4, je při maximálním nastaveném výkonu vidět již výrazné zaoblení náběžné hrany proudu. To je způsobeno vyšší indukčností.

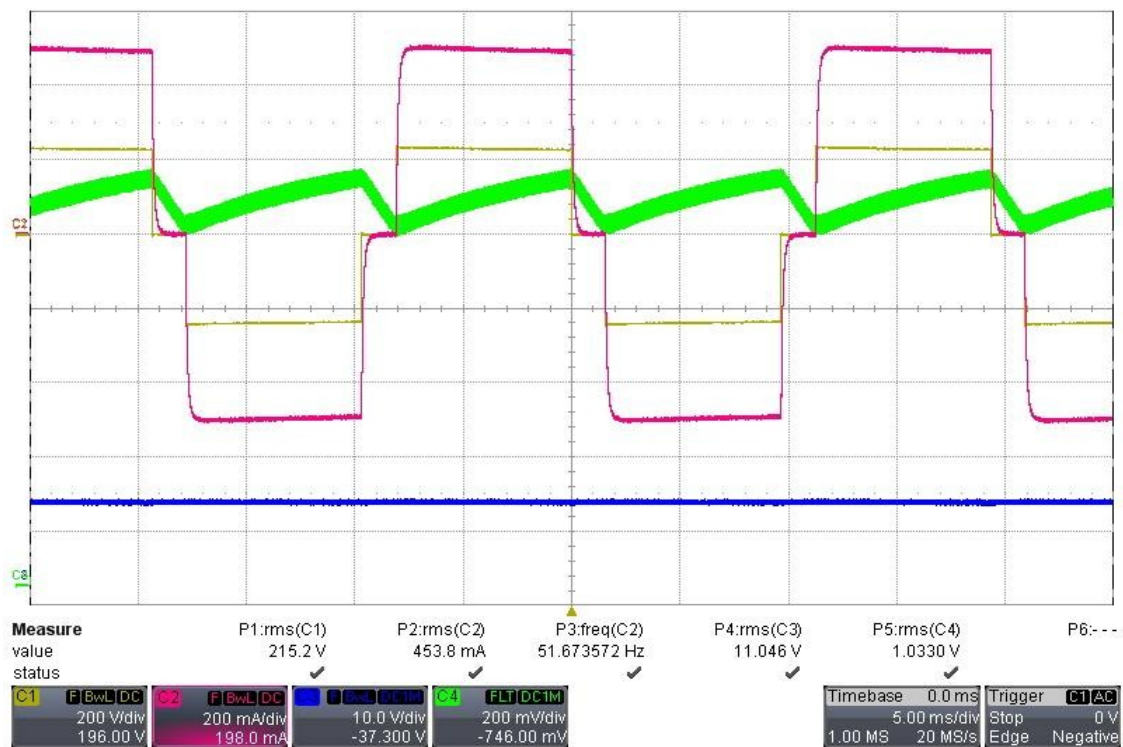
- Vstupní napětí U_1
- Vstupní proud I_1
- Výstupní napětí U_2
- Výstupní proud I_2

a) Při indukčnosti 29,6 mH:

Průběh č. 1, při 30W:

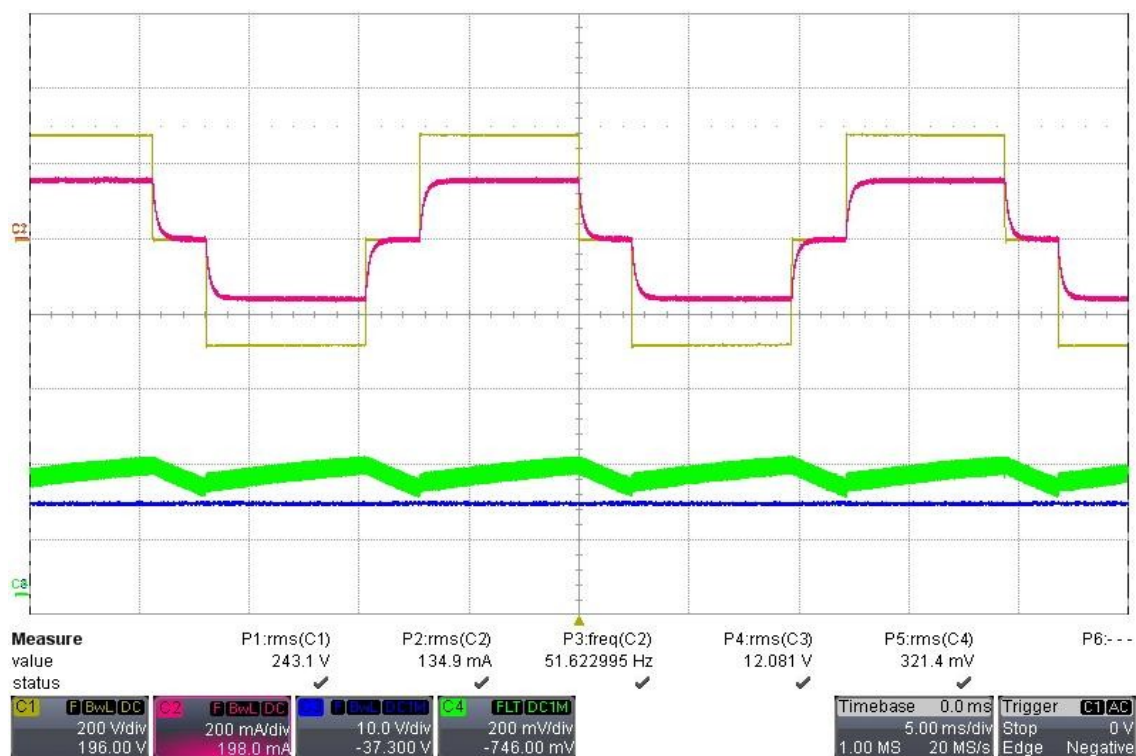


Průběh č. 2, při 100W:

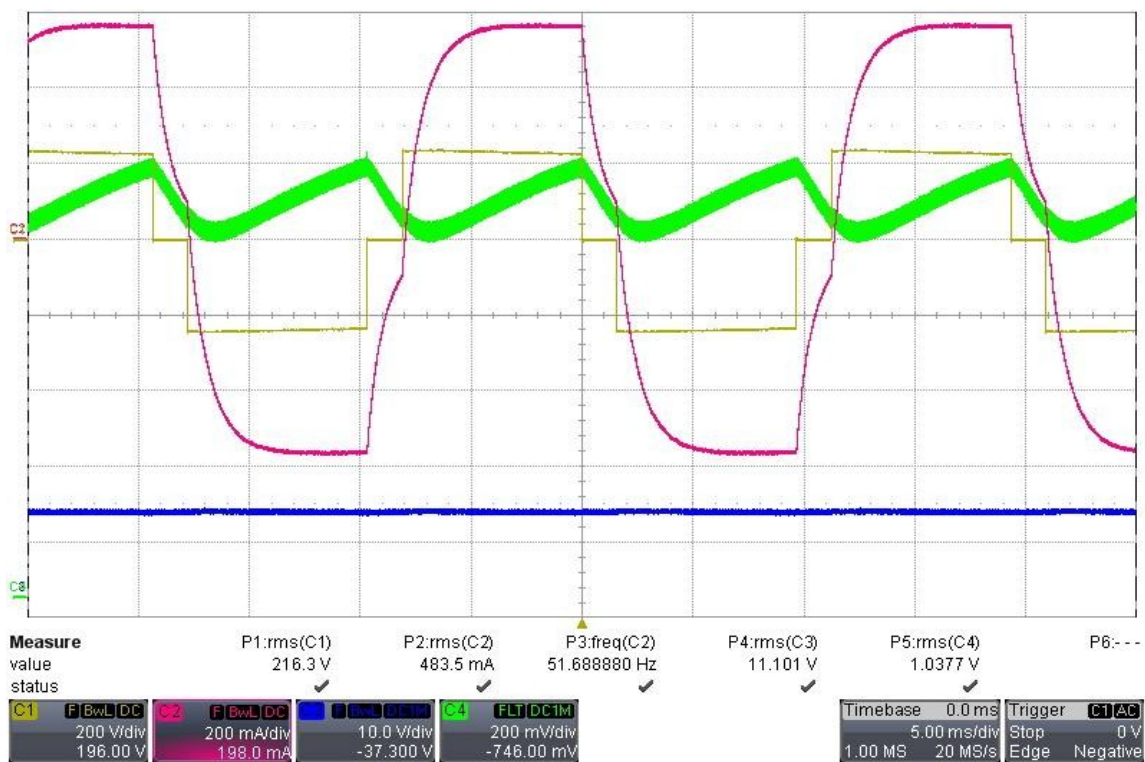


b) Při indukčnosti 253 mH:

Průběh č. 3, při 30W:



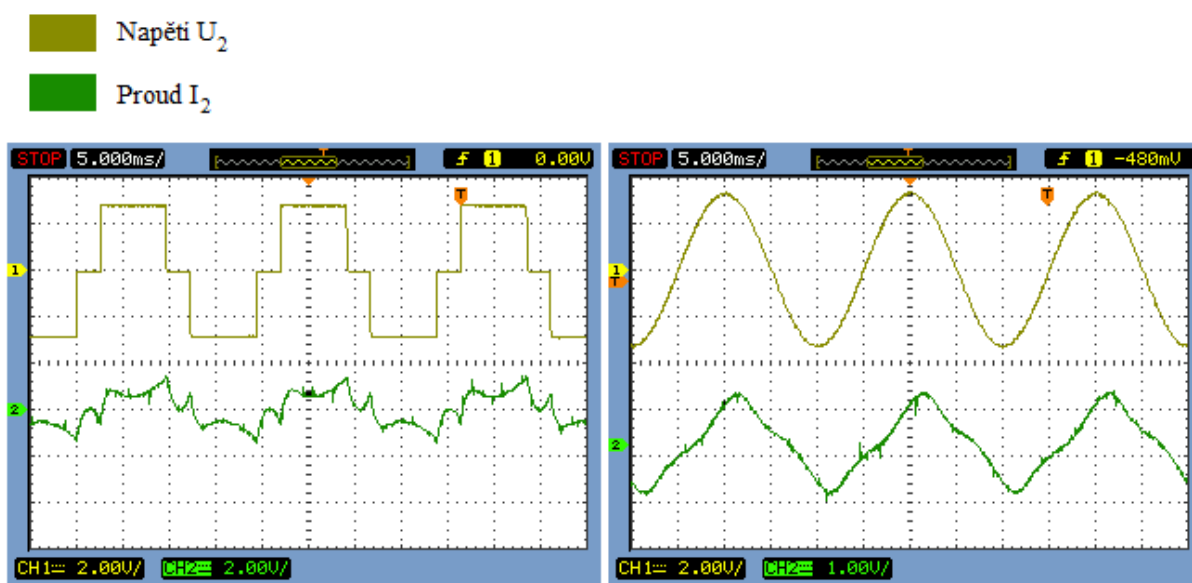
Průběh č. 4, při 100W:



3. **Zátěž motor.** Měření jsem prováděl na elektromotoru o výkonu 30W, s napájecím napětím 220V/50Hz. Měření jsem provedl na obou měničích. Vyšší účinnost měl opět měnič s obdélníkovým tvarem výstupního napětí s prodlevou. Jeho účinnost byla 85,8%. Měnič se sinusovým tvarem výstupního napětí měl účinnost pouze 63%. Je to způsobeno filtrem na výstupu.

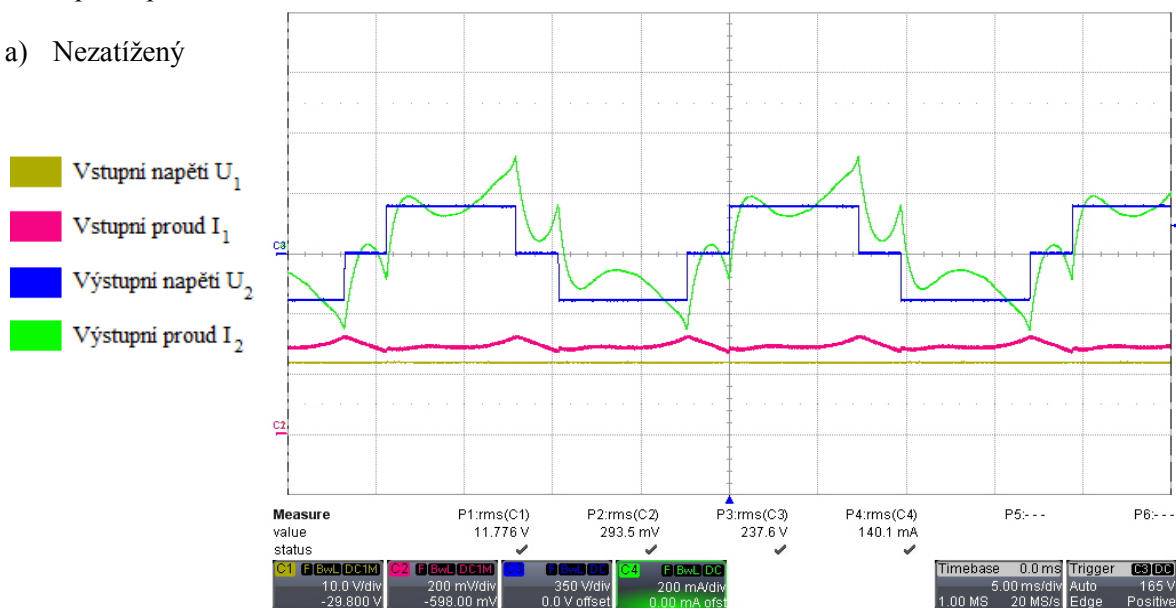
| Měnič | U_1 (V) | U_2 (V) | U_{R1} (V) | U_{R2} (V) | I_1 (A) | I_2 (A) | P_1 (W) | P_2 (W) | η (%) |
|----------|-----------|-----------|--------------|--------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
| Obdélník | 12,3 | 242 | 0,322 | 0,66 | 3,22 | 0,1404 | 39,606 | 33,983 | 85,803 |
| Sinus | 12,3 | 229 | 0,396 | 0,63 | 3,96 | 0,134 | 48,708 | 30,696 | 63,02 |

Průběhy napětí a proudů na obdélníkovém a sinusovém měniči:

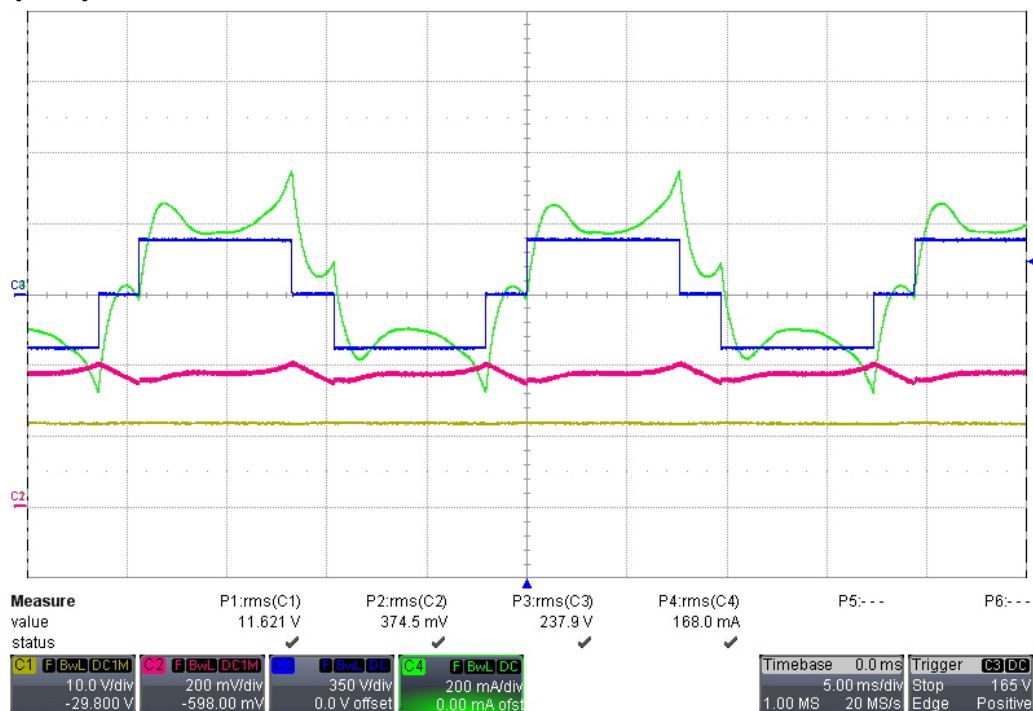


Průběh napětí a proudů na obdélníkovém měniči:

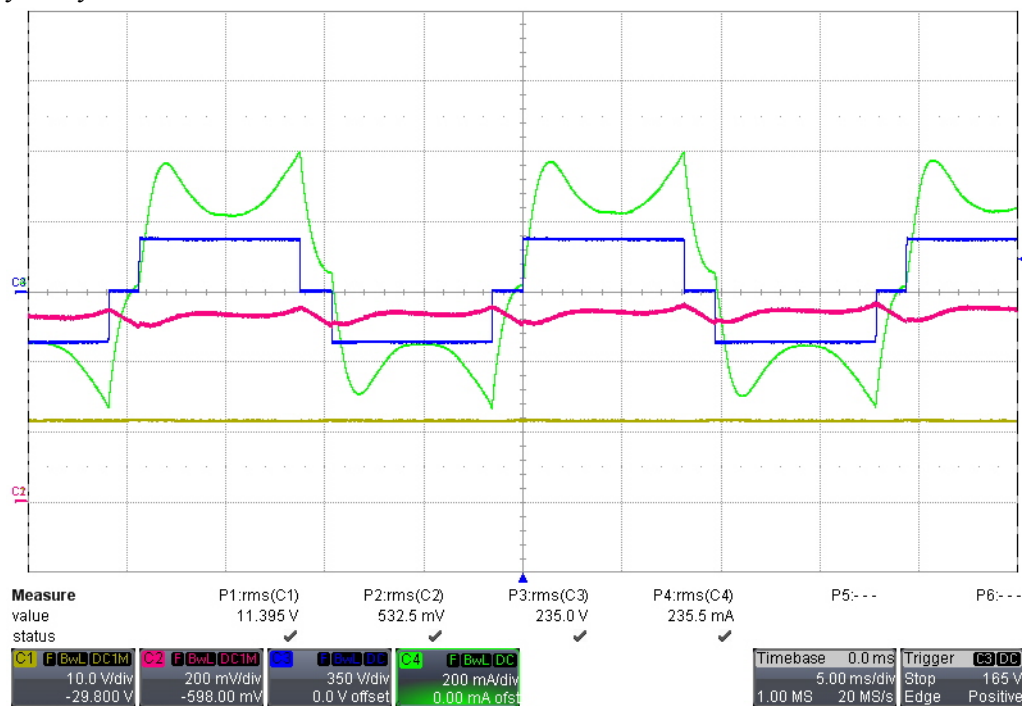
a) Nezatížený



b) Zatížený malým momentem:



c) Zatížený velkým momentem:



4. Závěr

Hlavním cílem mé bakalářské práce byla kompletní analýza komerčně dostupných DC/AC měničů. Provedl jsem teoretický rozbor, který obsahuje rozdělení měničů podle tvaru výstupního napětí, podle principu na jakém pracují, a zmínil jsem také něco o jejich vlastnostech a využití.

Ve druhé části práce je praktické měření na dvou typech měničů. První je typ s obdélníkovým tvarem výstupního napětí a druhý je se sinusovým tvarem výstupního napětí. Z měření vyplynulo, že při čistě odporové zátěži měl lepší účinnost měnič s obdélníkovým průběhem. Při zátěži odporově – induktivní bylo dosaženo lepší účinnosti při vyšší indukčnosti. Při měření na elektromotoru, měl lepší účinnost měnič s obdélníkovým tvarem výstupního napětí. Zjistil jsem také, že vyšší účinnost měniče byla při větším zatížení.

Seznam použité literatury

- [1] – Krieg Bernhard. Elektřina ze slunce, solární technika v teorii a praxi
1. vydání Ostrava, HEL 1993
- [2] – Měníče DC/AC (<http://mve.energetika.cz/sikovneruce/menice.htm>)
- [3] – Měníče napětí (<http://www.tomshardware.sk>)
- [4] – Akumulátory (<http://elektromobil.vseznamu.cz/baterie-v-elektromobilech>)
- [5] – Akumulátory (<http://mve.energetika.cz/sikovneruce/akumulator.htm>)
- [6] – UPS (<http://vedomosti.szm.com/>)